

## บทที่ 2

### ทบทวนเอกสาร

#### 2.1 ความเป็นมา

การศึกษากระบวนการโคเอเลสเซนซ์ ได้ทำขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1881 โดย Reynolds<sup>(1)</sup> โดยการสังเกตการรวมตัวของหยดน้ำฝนที่ตกลงบนผิวน้ำในบ่อ หลังจากนั้น Smoluckowski<sup>(1)</sup> ได้วิเคราะห์อัตราการรวมตัวของหยดอิมัลชัน และสร้างแบบจำลอง เพื่อทำนายพฤติกรรมของการรวมตัวของอนุภาคอิมัลชัน สำหรับทฤษฎีของกระบวนการโคเอเลสเซนซ์ที่จะได้รับการยืนยันและเข้าใจ ในช่วง ค.ศ. 1960 เป็นต้นมา<sup>(1)</sup> เนื่องจากการประดิษฐ์กล้องถ่ายภาพที่มีความเร็วสูง

E. Douglas และ I.G. Elliott (1960)<sup>(2)</sup> ได้ทำการทดลองแยกอิมัลชัน โดยใช้เครื่องกรองขนาดห้องปฏิบัติการเป็นกระบอกกลมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว ภายในบรรจุกรวด (pebble) ขนาด  $\frac{1}{3}$  -  $\frac{1}{16}$  นิ้ว ลึก 7 นิ้ว แยกอิมัลชันที่มีความเข้มข้นของอิมัลชันประมาณ 2,000 - 15,000 ส่วนในล้านส่วน (สลส) และ 80% ของอิมัลชันมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 0.01 นิ้ว ปรากฏว่าน้ำที่ผ่านการกรองแล้วมีอิมัลชันไม่เกิน 17 สลส. และมีค่าเฉลี่ยไม่เกิน 11 สลส. ที่อัตราการกรอง 1 แกลลอนต่อนาทีต่อตารางฟุต นอกจากนี้ยังได้แนะนำว่า การหาขนาดที่แน่นอนของเครื่องกรองเพื่อแยกอิมัลชันที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของอัตราการกรอง การสูญเสีย แรงดันหัวน้ำ ขนาดและความลึกของชั้นกรวด

ในปี 1966 S.S. Sareen และผู้ร่วมวิจัย<sup>(3)</sup> พบว่า การใช้ตัวกลางที่เบี่ยงได้ด้วยอิมัลชันไม่ใช่ปัจจัยสำคัญที่สุดสำหรับการปฏิบัติการได้ผล และสรุปว่า ถ้าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวกลางลดลงจะเกิดการรวมตัวที่สมบูรณ์มากกว่าเดิม

ในปี 1969 G.A. Davies และ G.V. Jeffreys<sup>(4)</sup> ได้แสดงให้เห็นว่า การแยกอิมัลชันชั้นสอง โดยใช้ packing column จะมีประสิทธิภาพมากขึ้น ถ้าระบบ

มีแรงดึงระหว่างผิวสูงขึ้น และต้องมีอัตราการไหลที่เหมาะสมเพื่อป้องกันไม่ให้แรงเฉือนที่เกิดขึ้นมากกว่าแรงจับยึด (adhesion force) ของหยดอิมัลชันในชั้นตัวกลาง และในปีเดียวกัน G.P. Canevari <sup>(5)</sup> ก็ได้พบว่าเมื่อมีสารลดแรงดึงผิวปนอยู่ในระบบจะทำให้อัตราการแยกอิมัลชันออกจากระบบลดลง

ในปี 1971 G.A. Danies <sup>(6)</sup> พบว่า การรวมตัวของอนุภาคอิมัลชันบนผิวของฟิล์มอิมัลชันจะต้องมีเวลามากพอ จึงจะเกิดการรวมตัวที่สมบูรณ์ J.P. Euzen และผู้ร่วมวิจัย <sup>(7)</sup> สรุปว่า การใช้ตัวกลางร่วมกันของตัวกลางที่แตกต่างกัน (ชนิดที่เปียกและไม่เปียกด้วยอิมัลชัน) ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงขึ้นกว่าการใช้ตัวกลางชนิดใดชนิดหนึ่งอย่างเดียว และ J.F. Bitten และผู้ร่วมวิจัย <sup>(8)</sup> ได้ทำการทดลองพบว่า ปริมาณอิมัลชันถูกสกัดกันมากที่สุดที่ผิวหน้าของชั้นตัวกลาง และปริมาณอิมัลชันลดลงอย่างรวดเร็วที่ชั้นตัวกลางห่างจากผิวหน้าประมาณ  $\frac{1}{16}$  นิ้ว

L.A. Spielman และ S.L. Goren <sup>(9)</sup> ได้ทำการทดลองในปี 1972 พบว่า การสูญเสียแรงดันหัวน้ำระหว่างกระบวนการโคเอเลสเซนซ์ไม่ขึ้นกับการกระจายของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคอิมัลชันที่เข้าสู่ระบบ และความหนืดของวัฏภาคกระจาย และในปีเดียวกัน R. Nebolsine <sup>(10)</sup> ได้ทำการทดลองพบว่า การเติมสารโพลีเมอร์ที่เหมาะสม สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องกรองโคเอเลสเซอร์

ในปี 1976 J.R. Madia และผู้ร่วมวิจัย <sup>(11)</sup> พบว่า การใช้เครื่องกรองโคเอเลสเซอร์ที่มีตัวกลางเปียกได้ด้วยอิมัลชันจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดหยดอิมัลชันได้ดีกว่า และประสิทธิภาพในการกำจัดอิมัลชันจะเพิ่มขึ้นตามความเปียกได้ด้วยอิมัลชันที่เพิ่มขึ้น

ต่อมาในปี 1978 M.E. Polano <sup>(12)</sup> กล่าวว่า เมื่อใช้เครื่องกรองโคเอเลสเซอร์บำบัดน้ำเสียที่มีอิมัลชันจะเกิดการสูญเสียแรงดันหัวน้ำมากที่สุด เมื่อชั้นตัวกลางถึงจุดอิ่มตัวในการสกัดกันอิมัลชัน ต่อจากนั้นการสูญเสียแรงดันหัวน้ำจะคงที่ตลอด และสรุปว่าประสิทธิภาพของการรวมตัวของอนุภาคอิมัลชันสามารถเพิ่มได้โดยการเพิ่มความลึกของชั้นตัวกลาง

ในปี (1980) Y. Aurille <sup>(13)</sup> ได้แสดงให้เห็นว่าตัวกลางที่เปียกได้ด้วยทั้งวัฏภาคกระจายและวัฏภาคต่อเนื่อง มีประสิทธิภาพดีกว่าตัวกลางที่เปียกได้ด้วยวัฏภาคกระจายหรือวัฏภาคต่อเนื่องอย่างเดียว

## 2.2 คำจำกัดความ และการแบ่งชนิดของอิมัลชัน

อิมัลชัน คือ ส่วนผสมส่วนหนึ่งของของเหลว 2 ชนิด เช่น น้ำกับน้ำมัน ซึ่งชนิดใดชนิดหนึ่งอาจจะเป็นวัฏภาคกระจายในของเหลวอีกชนิดหนึ่ง และอาจจำแนกอิมัลชันออกเป็นชนิดต่าง ๆ ได้ดังนี้

2.1.1 การจำแนกโดยอาศัยวัฏภาคต่อเนื่องเป็นบรรทัดฐานสามารถแบ่งอิมัลชันได้ 2 ชนิด คือ

- 1) อิมัลชันตรง (Direct emulsion, o/w emulsion) คือ อิมัลชัน ที่มีน้ำเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง และน้ำมันเป็นวัฏภาคกระจาย
- 2) อิมัลชันกลับ (Inverse emulsion, w/o emulsion) คือ อิมัลชันที่มีน้ำมันเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง และน้ำเป็นวัฏภาคกระจาย

2.1.2 การจำแนกโดยอาศัยขนาดของอิมัลชันเป็นบรรทัดฐาน สามารถแบ่งอิมัลชันได้ 3 ชนิด คือ

- 1) อิมัลชันชั้นหนึ่ง (Primary emulsion) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง เท่ากับหรือมากกว่า 100 ไมครอน
- 2) อิมัลชันชั้นสอง (Secondary emulsion) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง เล็กกว่า 20 ไมครอน
- 3) ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ประมาณ 100 - 600 อังสตรอม

2.1.3 การจำแนกโดยอาศัยเสถียรภาพของอิมัลชันเป็นบรรทัดฐานสามารถแบ่งอิมัลชันได้ 2 ชนิดคือ

- 1) อิมัลชันที่มีเสถียรภาพ (Stable emulsion) เป็นอิมัลชันที่มักจะ ไม่รวมตัวกันเป็นอิมัลชันที่มีขนาดใหญ่ และอยู่ในสภาวะลอยกระจายอยู่ในวัฏภาคต่อเนื่องได้ ตลอดเวลาอันยาวนาน
- 2) อิมัลชันที่ไม่มีเสถียรภาพ (Non-stable emulsion) เป็นอิมัลชันที่ลอยอยู่ในวัฏภาคต่อเนื่อง มีโอกาสสัมผัสกัน และมีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันให้มีขนาดใหญ่ขึ้น

จากการจำแนกชนิดต่าง ๆ ของอิมัลชันพอจะสรุปได้ว่ามีอิมัลชันทั้งหมด 8 ชนิด

ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การจำแนกชนิดของอิมัลชัน

บรรทัดฐาน	วิภาคต่อเนื่อง	ขนาดของอิมัลชัน		
		อิมัลชันชั้นแรก	อิมัลชันชั้นสอง	ไมโครอิมัลชัน
อิมัลชันที่มี	อิมัลชันตรง	-	*	*
เสถียรภาพ	อิมัลชันกลับ	-	*	*
อิมัลชันที่ไม่มี	อิมัลชันตรง	*	*	-
เสถียรภาพ	อิมัลชันกลับ	*	*	-

\* เกิดขึ้นได้

- ไม่เกิดขึ้น

2.3 พื้นฐานทางเคมีกายภาพที่นำมาประยุกต์ในเทคนิคโคเอเลสเซนซ์

2.3.1 แรงที่กระทำต่อไมเลกุลภายในของเหลว

เมื่อพิจารณาไมเลกุลที่อยู่ภายในของเหลวจะพบว่า มีแรงดึงดูดกระทำต่อไมเลกุลนั้นจากไมเลกุลข้างเคียงรอบด้านเท่า ๆ กันทุกทิศทาง ซึ่งแบ่งออกเป็นแรงดึงดูดที่สำคัญได้ 2 ประเภท คือ

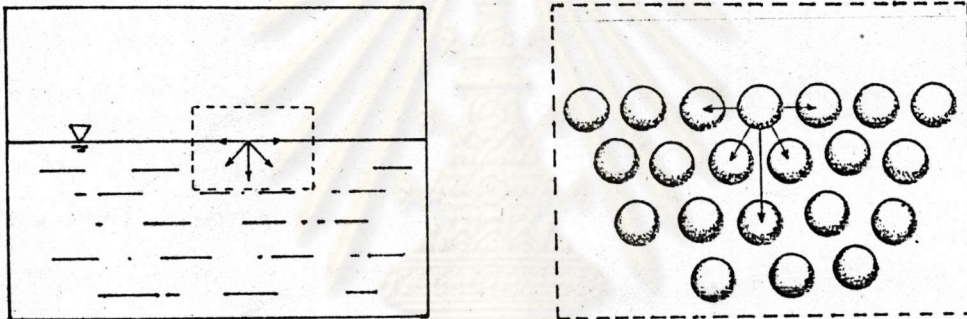
1. แรงวันเดอร์วาลส์ (Van der Waals Force) เป็นแรงดึงดูดระหว่างไมเลกุลซึ่งเป็นแรงที่มีอยู่ทั่วไปในวัตถุต่าง ๆ ทุกสถานะ และแรงนี้แปรผกผันกับกำลังที่เจ็ดของระยะห่างระหว่างไมเลกุล ดังนั้น ถ้าไมเลกุลอยู่ห่างกันมากแรงยิ่งน้อยจนแทบไม่มี ดังนั้นไมเลกุลต้องเข้ามาอยู่ในระยะใกล้ขีดประมาณ  $5.0 \times 10^{-10}$  ม. จึงจะมีแรงดึงดูดกันมากพอสมควร

2. แรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic หรือ Polar Force) เป็นแรงดึงดูดที่มี อยู่เฉพาะในไมเลกุลที่อะตอมมีความสามารถดึงดูดอิเล็กตรอนแตกต่างกัน ดังนั้นจึงเกิดขั้วไฟฟ้าภายในไมเลกุล และมักมีขนาดมากกว่าแรงวันเดอร์วาลส์ และแรงนี้แปรผกผันกับกำลังสองของระยะห่างระหว่างไมเลกุล

ความแตกต่างระหว่างแรงวันเดอร์วาลส์ และแรงไฟฟ้าสถิต คือ แรงวันเดอร์วาลส์มีอยู่ทั่วไปไม่ว่าอยู่ในของเหลวชนิดใด ส่วนแรงไฟฟ้าสถิต จะมีเฉพาะโมเลกุลของของเหลวชนิดที่มีขั้ว เช่น น้ำ ส่วนในของเหลวประเภทไฮโดรคาร์บอนมักจะไม่คำนึงถึงแรงไฟฟ้าสถิต

### 2.3.2 แรงดึงผิวของของเหลว (Surface Tension of Liquid)

เมื่อพิจารณาโมเลกุลของของเหลวซึ่งอยู่ที่ผิว จะพบว่า มีแรงดึงดูดจากโมเลกุลเพื่ออยู่ด้านล่างและด้านข้างเท่านั้น (ดูรูป 2.1) แรงดึงดูดจากด้านบนไม่มีผิวของ



รูป 2.1 แสดงแรงดึงดูดของโมเลกุลซึ่งอยู่ที่ผิวของเหลว

เหลวจึงมีแต่แรงดึงเข้าภายใน แรงนี้พยายามดึงโมเลกุลที่อยู่ผิวมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ทำให้ผิวของของเหลวลดลง โดยพยายามลดพื้นที่ผิวให้เหลือน้อยที่สุด แรงที่ดึงโมเลกุลที่ผิวของของเหลวเข้าภายใน เรียกว่า แรงดึงผิว (surface tension) และสามารถหาขนาดของแรงดึงผิวได้จากอัตราส่วนของแรงที่กระทำไปตามผิวของของเหลวต่อความยาวของผิวที่ถูกแรงกระทำ ความยาวนี้ต้องตั้งฉากกับแรงด้วย

### 2.3.3 งานโคฮีชันและงานแอดฮีชัน (Cohesion and Adhesion Work)

งานโคฮีชัน คือ งานที่ต้องใช้ในการดูดติดโมเลกุลของสารชนิดเดียวกัน สำหรับงานโคฮีชันของของเหลวมีค่าเท่ากับสองเท่าของแรงดึงผิวของของเหลว ดังสมการ (2.1)

$$W_c = 2 \gamma \quad (2.1)$$

โดยที่  $W_c =$  งานโคฮีชัน

$\gamma =$  แรงตึงผิว

ในกระบวนการโคเอเลสเซนซ์จะพบว่ามีการกระจายและรวมตัวของอนุภาค ดังนั้นงานโคฮีชันของอนุภาคกระจายจะเท่ากับสองเท่าของแรงตึงผิวระหว่างอนุภาคกระจายกับอนุภาคต่อเนื่อง ดังสมการ (2.2)

$$W_c^{(d)} = 2 \gamma_{dc} \quad (2.2)$$

โดยที่  $W_c^{(d)} =$  งานโคฮีชันของอนุภาคกระจายที่อยู่ในอนุภาคต่อเนื่อง

$\gamma_{dc} =$  แรงตึงระหว่างผิวของอนุภาคกระจายกับอนุภาคต่อเนื่อง

งานแอดฮีชัน คือ งานที่ต้องใช้ในการดูดติดโมเลกุลของสารต่างชนิด ซึ่งดูเปเร (Dupre)<sup>(15)</sup> ได้ให้ความสัมพันธ์ของงานแอดฮีชันกับแรงตึงผิวของสาร ดังสมการที่ (2.3)

$$W_{adh}^{(ab)} = \gamma_a + \gamma_b - \gamma_{ab} \quad (2.3)$$

โดยที่  $W_{adh}^{(ab)} =$  งานแอดฮีชันของสาร a และ b

$\gamma_a =$  แรงตึงผิวของสาร a

$\gamma_b =$  แรงตึงผิวของสาร b

$\gamma_{ab} =$  แรงตึงระหว่างผิวของสาร a และ b

สำหรับในกระบวนการโคเอเลสเซนซ์ งานแอดฮีชันระหว่างตัวกลางกับอนุภาคกระจาย (น้ำมัน) ที่อยู่ในอนุภาคต่อเนื่อง (น้ำ) สามารถแสดงความสัมพันธ์ของงานแอดฮีชันกับแรงตึงผิวได้ดังสมการ (2.4)

$$W_{adh}^{(sd)} = \gamma_{sc} + \gamma_{dc} - \gamma_{sd} \quad (2.4)$$

โดยที่  $W_{adh}^{(sd)} =$  งานแอดฮีชันของตัวกลางกับน้ำมันที่อยู่ในน้ำ

$\gamma_{sc} =$  แรงตึงระหว่างผิวของตัวกลางกับน้ำ

$\gamma_{dc} =$  แรงตึงระหว่างผิวของน้ำกับน้ำมัน

$\gamma_{sd} =$  แรงตึงระหว่างผิวของตัวกลางกับน้ำมัน

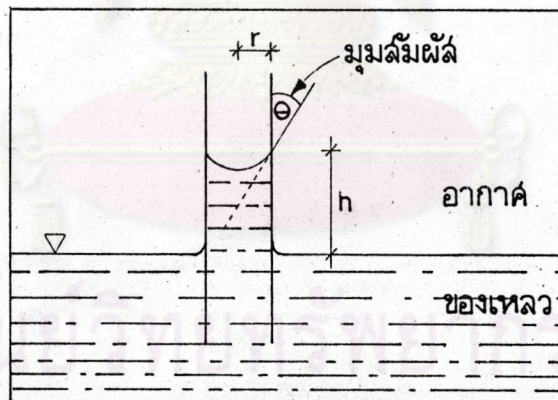
Harkin<sup>(15)</sup> ได้นิยามความแตกต่างระหว่างงานโคฮีชันและงานแอดฮีชัน คือ สัมประสิทธิ์การแผ่กระจายของวิภาคกระจายบนของแข็ง (spreading coefficient,  $\phi$ ) แสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการ (2.5)

$$\begin{aligned}\phi &= W_{adh}(sd)_c - W_c(d)_c \\ &= \gamma_{sc} - \gamma_{sd} + \gamma_{dc} - 2\gamma_{dc} \\ &= \gamma_{sc} - \gamma_{sd} - \gamma_{dc}\end{aligned}\quad (2.5)$$

ความหมายขั้นพื้นฐานของสมการ (2.5) หมายความว่า สำหรับค่าของ  $\phi$  เป็น ศูนย์ หรือมีค่ามากกว่าศูนย์ จะเกิดการแผ่กระจายของวิภาคกระจาย (เปียก) บนผิวหน้าของ ตัวกลางของเครื่องกรองโคเอเลสเซอร์

#### 2.3.4 ความดันคาปิลลารี (Capillary Pressure)

เมื่อนำหลอดแก้วรูเล็กปลายเปิด จุ่มลงในของเหลว ดังรูป 2.2



รูป 2.2 แสดงหลอดคาปิลลารีจุ่มในของเหลว

ของเหลวจะขึ้นไปตามหลอดแก้วสูงกว่าระดับของเหลวตามปกติ เนื่องจากงานโคฮีชันของของเหลว มีค่าน้อยกว่างานแอดฮีชันระหว่างของเหลวกับหลอดแก้ว



ในการคำนวณหาความดันคาปิลลารี หาได้โดยสมการ (2.6)

$$P_c = \frac{2\gamma \cos \theta}{r} \quad (2.6)$$

โดยที่  $P_c$  = ความดันคาปิลลารี

$\theta$  = มุมสัมผัสระหว่างของเหลวกับหลอดแก้ว

$r$  = รัศมีของหลอดแก้ว

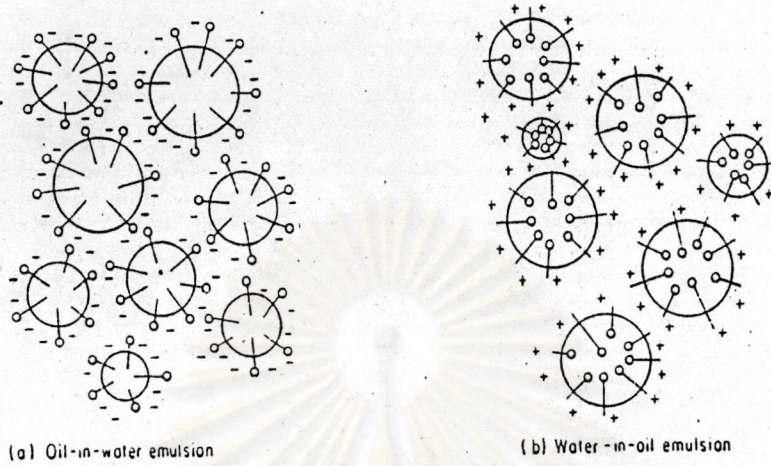
#### 2.4 การเกิดเสถียรภาพของอิมัลชัน

ในกระบวนการสกัดของเหลว-ของเหลว(Liquid-Liquid Extraction) อนุภาคของวัฏภาคกระจายที่อยู่ในวัฏภาคต่อเนื่อง เมื่อมีการกวนหรือผสมจะทำให้อนุภาคของวัฏภาคกระจายเกิดเสถียรภาพมากขึ้น เช่น การไหลผ่านช่องอต่าง ๆ การสูบน้ำโดยใช้เครื่องสูบน้ำแบบทอยโข่ง ฯลฯ ที่เป็นเช่นนี้ เพราะว่าการกวนหรือผสมมีแรงเสียดทานระหว่างวัฏภาคกระจายและวัฏภาคต่อเนื่องทำให้เกิดประจุไฟฟ้าสถิตขึ้นที่ผิวของอนุภาคอิมัลชัน ดังนั้น เมื่ออนุภาคอิมัลชันเข้าใกล้กันจะเกิดการผลักกันของประจุชนิดเดียวกัน ทำให้อนุภาคอิมัลชันรวมตัวกันไม่ได้

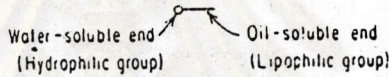
ถ้ามีสารลดแรงตึงผิว (surface active agent) หรือ ผงซักฟอก (detergent) ผสมอยู่ในน้ำเสีย จะทำให้อนุภาคอิมัลชันมีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งผลของสารลดแรงตึงผิวที่มีต่ออนุภาคอิมัลชันแบ่งออกเป็น 2 ประการคือ

1. ทางเคมีโดยการแตกตัวเป็นประจุไฟฟ้า (ionization) เมื่อมีการดูดติดระหว่างสารลดแรงตึงผิวกับอนุภาคอิมัลชันทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าที่ผิวของอนุภาคอิมัลชัน
2. ทางกายภาพโดยการที่สารลดแรงตึงผิวมีลักษณะสมบัติทางเคมีที่มีส่วนหนึ่งของโมเลกุลดึงดูดน้ำมัน (oleophile) และอีกส่วนหนึ่งดึงดูดน้ำ (hydrophile) ซึ่งสารนี้ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างวัฏภาคกระจายกับวัฏภาคต่อเนื่องจึงทำให้เกิดเสถียรภาพขึ้น (ดูรูป 2.3)





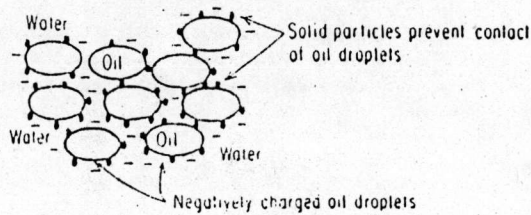
NOTE: Emulsifier molecule shown in simplified form:



รูปที่ 2.3 การเกิดเสถียรภาพของอิมัลชัน เนื่องจากสารลดแรงตึงผิว

นอกจากนี้อนุภาคของแข็งที่มีขนาดเล็ก ๆ ทำให้อนุภาคอิมัลชันมีเสถียรภาพ คืออนุภาคเหล่านี้ถูกดูดติดอยู่บนผิวของอนุภาคอิมัลชัน ทำให้อนุภาคอิมัลชันรวมตัวกันไม่ได้ เพราะว่าอนุภาคของแข็งที่ติดอยู่บนผิวของอนุภาคอิมัลชันป้องกันไม่ให้ผิวของอนุภาคอิมัลชันสัมผัสกัน ดังนั้นจึงไม่มีโอกาสเกิดการรวมตัวเป็นอนุภาคโตขึ้นจนลอยขึ้นสู่น้ำได้ (ดูรูปที่ 2.4)

ศูนย์วิทยาศาสตร์สุขภาพ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.4 การเกิดเสถียรภาพของอิมัลชัน เนื่องจากอนุภาคของแข็ง

## 2.5 เทคนิคต่าง ๆ ในการแยกอิมัลชัน

### 2.5.1 ทั่วไป

เมื่อพิจารณาทฤษฎีของการลอยซึ่งกล่าวถึง ผลของแรงดึงดูดของโลกที่มีต่ออนุภาคอิมัลชันในของเหลวที่มีความหนาแน่นมากกว่า ภายใต้อิทธิพลของแรงดึงดูดของโลก อนุภาคที่มีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1.0 จะลอยในน้ำด้วยความเร่ง จนกระทั่งเมื่อแรงต้านทานของน้ำเท่ากับน้ำหนักสัมฤทธิ์ของอนุภาคนั้น ความเร็วในการลอยจึงจะคงที่ และความเร็วนี้จะขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง ความหนาแน่น และความหนืดของอนุภาคอิมัลชัน ตลอดจนความหนาแน่นและความหนืดของน้ำ

ในการพิจารณาทั่วไปมักถือว่าอนุภาคอิมัลชันเป็นแบบทรงกลม แต่เมื่ออนุภาคอิมัลชันเคลื่อนที่ในน้ำมักมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เนื่องจากความไม่คงตัว (non-rigid) ของของไหล (fluid) ดังนั้นเมื่อปล่อยให้อนุภาคอิมัลชันลอย ตามกฎของสโตก (Stokes' Law) ในกรณีที่ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์มีค่าต่ำกว่า 2 แสดงได้ดังสมการที่ 2.7

$$W = X \frac{\Delta \rho g d_E^2}{18\mu_c} \quad (2.7)$$

โดยที่  $W$  = ความเร็วในการลอยหรือตกตะกอนของวิภาคกระจาย

$$\Delta \rho = \rho_d - \rho_c$$

$$\rho_d = \text{ความหนาแน่นของวิภาคกระจาย}$$

$$\rho_c = \text{ความหนาแน่นของวิภาคต่อเนื่อง}$$

$$g = \text{อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก}$$

$$d_E = \text{เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคอิมัลชัน}$$

$$X = \frac{3\mu_c + 3\mu_d}{2\mu_c + 3\mu_d}$$

$$\mu_c = \text{ค่าความหนืดของวิภาคต่อเนื่อง}$$

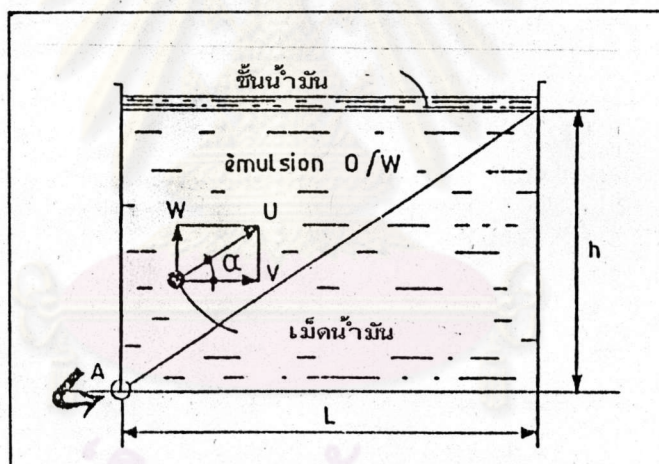
$$\mu_d = \text{ค่าความหนืดของวิภาคกระจาย}$$

$\Delta\rho$  เป็นค่าแสดงถึงทิศทางการลอยหรือตกตะกอนของอนุภาคอิมัลชัน ถ้า  $\Delta\rho$  เป็นบวกแสดงว่าเกิดการตกตะกอน และถ้า  $\Delta\rho$  เป็นลบแสดงว่าเป็นการลอย

### 2.5.2 การปล่อยให้ลอย (Floating)

การปล่อยให้ลอยเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการแยกอนุภาคอิมัลชันออกจากวัฏภาคต่อเนื่อง โดยอาศัยแรงลอยตัวของอิมัลชัน และแรงดึงดูดของโลก ลักษณะการลอยของอนุภาคอิมัลชันขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของอนุภาคอิมัลชัน ซึ่งในที่นี้จะกล่าวเฉพาะอนุภาคอิมัลชันที่ไม่สามารถจับกันเป็นกลุ่ม การปล่อยให้ลอยลักษณะนี้จะเป็นการลอยแบบโดด (discrete floating)

#### 2.5.2.1 ทฤษฎีสำหรับการลอยแบบโดด



รูปที่ 2.5 การวิเคราะห์ถังปล่อยให้ลอยแบบจุดมคติ

จากรูปที่ 2.5 แสดงให้เห็นถึงถังปล่อยให้ลอยแบบจุดมคติ ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือ บริเวณทางน้ำเข้า บริเวณที่ปล่อยให้ลอย และบริเวณทางน้ำออก ในกรณีของถังแบบจุดมคตินี้ ถือว่า

1. แต่ละอนุของวัฏภาคต่อเนื่องเคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณปล่อยให้ลอย ในลักษณะที่เป็นระนาบแนวตั้ง
2. อนุของวัฏภาคต่อเนื่องเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ และสม่ำเสมอ ตลอดเวลาด้วยความเร็วเท่ากับ  $V$

3. อนุภาคของวิทยุภาคกระจายทั้งหมดลอยอย่างอิสระ และอนุภาคที่ลอยถึงผิวหน้าของถังถือว่าถูกกำจัดออกไป

ถ้าให้  $t$  = เวลาที่ใช้ในการลอย

จะได้  $t = \frac{L}{V}$  หรือ  $\frac{h}{W}$

ดังนั้น  $W = \frac{h}{t}$  หรือ  $\frac{hV}{L}$

แต่  $V = \frac{q}{hw}$

เพราะฉะนั้น  $W = \frac{hq}{Lhw}$

$$= \frac{q}{WL}$$

เนื่องจาก  $WL =$  พื้นที่ผิวหน้าของถัง  $= A$

ดังนั้น  $W = \frac{q}{A}$  (2.8)

โดยที่  $q =$  อัตราการไหล ( $\text{ม}^3/\text{วินาที}$ )

$h =$  ความสูงประสิทธิภาพของถัง (ม.)

$L =$  ความยาวประสิทธิภาพของถัง (ม.)

$W =$  ความกว้างของถัง (ม.)

ความหมายขั้นพื้นฐานของสมการ (2.8) หมายความว่า สำหรับถังปล่อยให้ลอยแบบอุดมคติ ที่มีขนาดพื้นที่ผิวหน้าเท่ากับ  $A$  และอัตราการไหลเข้าถังเท่ากับ  $Q$  จะสามารถกำจัดอนุภาคอิมัลชันใด ๆ ก็ตามที่ลอยด้วยความเร็วสูงกว่า หรือเท่ากับ  $\frac{Q}{A}$  ได้ทั้งหมด

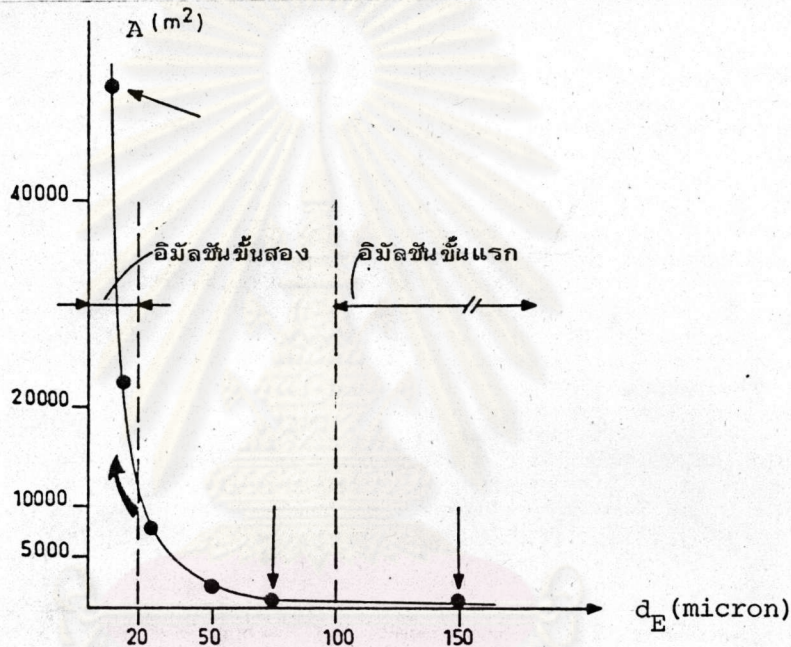
เมื่อคำนวณหาขนาดของถังในการแยกชั้นของวิทยุภาคกระจายที่มีปริมาณน้ำไหลเข้าถังเท่ากับ 1,000 ลบ./ชม. ซึ่งมีค่า  $\Delta\rho = -0.1$  ก./ลบ.ชม. วิทยุภาคต่อเนื่องเป็นน้ำมันมีความหนืด 1 เซนติพอยส์ (centipoise) โดยใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคอิมัลชัน 150, 75 และ 10 ไมครอน ความหนืดของวิทยุภาคกระจายเท่ากับ 0.3 เซนติพอยส์ หากพื้นที่ผิวหน้าได้ดังนี้

$$d_E = 150 \mu \quad A = 230 \quad \text{ตร.ม.}$$

$$d_E = 75 \mu \quad A = 910 \quad \text{ตร.ม.}$$

$$d_E = 10 \mu \quad A = 51000 \quad \text{ตร.ม.}$$

จากการหาขนาดของถังในการแยกชั้นของวัฏภาคกระจายดังกล่าว เมื่อนำไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวหน้า กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคอิมัลชันจะได้กราฟตามรูปที่ (2.6)



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวหน้ากับ เส้นผ่าศูนย์กลางของอิมัลชัน

จากรูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นถึงขีดจำกัดในการใช้ถังธรรมดาแยกอิมัลชัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแยกอิมัลชันชั้นสอง และไมโครอิมัลชันจะต้องใช้พื้นที่ผิวหน้าหรือ เวลาในการแยกสูงมาก

#### 2.5.2.2 เทคนิคต่าง ๆ ในการแยกอิมัลชันให้เร็วขึ้น

เทคนิคต่าง ๆ ในการแยกอิมัลชันให้เร็วขึ้น โดยพยายามเปลี่ยนค่าตัวแปร ในกฎของสโตกซึ่งสรุปได้ 4 กรณีดังนี้

1. เพิ่มอุณหภูมิของวัฏภาคต่อเนื่อง เพื่อลดค่าความหนืด ( $\mu_c$ ) เรียกว่า เทคนิคการแยกอิมัลชันด้วยความร้อน
2. เพิ่มค่าความแตกต่างของความหนาแน่นของมวลของ

วิฤภาคกระจายและวิฤภาคต่อเนื่อง ( $\Delta\rho$ ) เช่น การใช้เทคนิคของ Dissolved Air Flotation

3. เพิ่มอัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ( $g$ ) เช่น เทคนิคการแยกอิมัลชันด้วยการเซนตริฟิวจ์

4. เพิ่มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอิมัลชัน ( $d_E$ ) ซึ่งเป็นค่าที่เพิ่มได้มาก เพราะยกกำลังสอง ในกรณีนี้จะเป็นการรวมเอาอนุภาคของวิฤภาคกระจายให้รวมตัวกันมีขนาดใหญ่จนสามารถแยกออกด้วยการลอยขึ้นได้ง่าย ซึ่งเรียกเทคนิคนี้ว่า วิธีโคเอเลสเซนซ์

วิธีโคเอเลสเซนซ์แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ อิเล็กโตรโคเอเลสเซนซ์ (Electrocoalescence) ซึ่งใช้ได้ผลดีเมื่อสารต่อเนื่องไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า และโคเอเลสเซนซ์ ซึ่งใช้วัสดุตัวกลางสกัดกันอิมัลชัน

## 2.6 หลักการแยกอิมัลชันด้วยโคเอเลสเซอร์

การจำแนกลักษณะการสกัดกันวิฤภาคกระจายของโคเอเลสเซอร์เกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะคือ

2.6.1 การสกัดกันวิฤภาคกระจายแบบติดผิว (Surface Coalescer)

2.6.2 การสกัดกันวิฤภาคกระจายแบบติดข้างในชั้นตัวกลาง (Indepth Coalescer )

2.6.1 การสกัดกันวิฤภาคกระจายแบบติดผิว

โคเอเลสเซอร์ชนิดนี้มีวิธีการสกัดกันวิฤภาคกระจายอยู่บนผิวหน้าของวัสดุตัวกลาง ในขณะที่วิฤภาคต่อเนื่องจะไหลผ่านตัวกลาง และอนุภาคอิมัลชันจะรวมตัวบนผิวหน้าของตัวกลาง จนกระทั่งมีฟิล์มของวิฤภาคกระจายหนาพอเพียง ก็จะทำให้เกิดการสร้างหยด (Drop formation) ของอนุภาคอิมัลชันที่โตพอที่จะแยกออกจากผิวของตัวกลาง

เนื่องจากกลไกในการสกัดกัน การรวมตัว และการสร้างเม็ดหยดของวิฤภาคกระจายที่เกิดบนผิวหน้าของตัวกลาง ดังนั้นจึงเรียกโคเอเลสเซอร์ชนิดนี้ว่า Surface Coalescer

### 2.6.2 การสกัดกันวัฏภาคกระจายแบบติดค้างในชั้นตัวกลาง

โคเอเลสเซอร์ชนิดนี้มีกลไกการรวมตัวของวัฏภาคกระจายเกิดขึ้นภายในชั้นตัวกลาง ซึ่งอาจจำแนกโคเอเลสเซอร์ชนิดนี้ ตามลักษณะทางกายภาพของวัสดุที่ใช้เป็นตัวกลาง ออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. ตัวกลางแบบที่เป็นก้อน (Granular media)
2. ตัวกลางแบบเส้นใย (Fiber media)

### 2.6.3 การเลือกใช้ตัวกลางของโคเอเลสเซอร์แบบก้อนและแบบเส้นใย

การเลือกใช้ตัวกลางของโคเอเลสเซอร์ต้องเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะของน้ำเสียที่ต้องการบำบัด กล่าวคือ ในกรณีที่น้ำเสียมีตะกอนแขวนลอยปนอยู่มากควรใช้ตัวกลางชนิดก้อน เพราะว่า ตัวกลางชนิดนี้สามารถล้างทำความสะอาดตัวกลางได้โดยการล้างย้อน (Backwash) ส่วนตัวกลางชนิดเส้นใยไม่เหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสียชนิดนี้ เนื่องจากตะกอนแขวนลอยจะทำให้ชั้นตัวกลางอุดตัน และไม่สามารถทำการล้างย้อนเอาตะกอนที่อุดตันออก ในกรณีที่น้ำเสียมีตะกอนแขวนลอยไม่มากนักควรใช้ตัวกลางชนิดเส้นใย เพราะว่า ตัวกลางชนิดเส้นใยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กทำให้ประสิทธิภาพของโคเอเลสเซอร์ในการสกัดกันมีค่าสูง และมีการสูญเสียแรงดันหัวน้ำต่ำ เนื่องจากตัวกลางแบบเส้นใยมีความพรุนสูง

### 2.6.4 กลไกในการทำงานของโคเอเลสเซอร์ชนิดที่มีตัวกลางเป็นก้อน

ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในการแยกอิมัลชันโดยใช้โคเอเลสเซอร์ อาจแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอนคือ

1. การส่งถ่าย (Transport) วัฏภาคกระจายเข้าสัมผัสกับตัวกลาง
2. การจับยึดอนุภาคอิมัลชัน (Attachment)
3. การหลุดออกจากชั้นตัวกลาง (Release)

#### 2.6.4.1 การส่งถ่ายวัฏภาคกระจายเข้ามาสัมผัสกับตัวกลางในโคเอเลสเซอร์

กลไกการส่งถ่ายวัฏภาคกระจายเข้ามาสัมผัสกับตัวกลางในโคเอเลสเซอร์เกิดขึ้นได้ 3 กรณีคือ การส่งถ่ายด้วยการตกตะกอน การส่งถ่ายด้วยการปะทะโดยตรงและการส่งถ่ายด้วยการแพร่กระจาย ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1. การส่งถ่ายด้วยการตกตะกอน เกิดขึ้นโดยมีอนุภาคของวิฤภาคกระจาย ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าช่องว่างระหว่างตัวกลาง ซึ่งการตกตะกอนบนผิวของตัวกลางจะเหมือนกับกระบวนการแบบถึงตกตะกอน การตกตะกอนโดยวิธีนี้เกิดขึ้นได้ในทุกชั้นของตัวกลาง และในการตกตะกอนบนผิวตัวกลางนั้น ถ้า  $\Delta\rho$  มีเครื่องหมายเป็นบวก พื้นที่บนผิวตัวกลางที่มีผลต่อการตกตะกอนมีเฉพาะผิวด้านบนที่หันขึ้น (ถ้า  $\Delta\rho$  มีเครื่องหมายเป็นลบ ผิวด้านล่างที่หันลงจะมีผลต่อการลอย) ซึ่งไม่สัมผัสกับตัวกลางอื่น และไม่ถูกรบกวนด้วยการไหลของน้ำ

สำหรับประสิทธิภาพในการตกตะกอน ( $\eta_s$ ) ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำ และความเร็วในการตกตะกอนของวิฤภาคกระจาย ในกรณีที่ตัวกลางเป็นรูปทรงกลม สามารถเขียนประสิทธิภาพในการตกตะกอน ( $\eta_s$ ) ได้ตามสมการที่ (2.9)

$$\eta_s = \frac{W}{V_0} = \chi \frac{\Delta\rho g d_E^2}{18\mu V_0} \quad (2.9)$$

โดยที่  $V_0$  = ความเร็วในการไหลของวิฤภาคกระจายผ่านตัวกลาง

2. การส่งถ่ายด้วยการปะทะโดยตรง เกิดขึ้นโดยการที่อนุภาคของวิฤภาคกระจายปะทะกับตัวกลางโดยตรง ในกรณีที่ตัวกลางเป็นรูปทรงกลม หาประสิทธิภาพในการปะทะโดยตรง ( $\eta_I$ ) ได้ตามสมการที่ (2.10)

$$\eta_I = \frac{3}{2} \left[ \frac{d_E}{d_p} \right]^2 \quad (2.10)$$

โดยที่  $d_E$  = เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคของวิฤภาคกระจาย

$d_p$  = เส้นผ่าศูนย์กลางของวัสดุที่ใช้เป็นตัวกลาง

จากสมการที่ (2.10) จะเห็นว่าประสิทธิภาพของการปะทะโดยตรงจะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคของวิฤภาคกระจาย และตัวกลางในโคเอเลสเซอร์ ส่วนอัตราการไหลของน้ำมีผลต่อประสิทธิภาพของกลไกแบบนี้้น้อยมาก

3. การส่งถ่ายด้วยการแพร่กระจาย เกิดขึ้นเนื่องจากการไหลอย่างไม่คงตัวของวิฤภาคต่อเนื่อง และทำให้อนุภาคของวิฤภาคกระจายเบี่ยงเบนไปจากแนวของกระแส น้ำจนเข้าไปสัมผัสกับตัวกลางในทุกทิศทาง การส่งถ่ายด้วยการแพร่กระจายมีความสำคัญ



เมื่อขนาดของอนุภาคของวัสดุกระจายมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 1 ไมครอน เนื่องจากอนุภาคของวัสดุกระจายขนาดเล็ก ๆ จะไวต่อการเคลื่อนไหวแบบบราวเนียน (Brownian movement)

สำหรับประสิทธิภาพในการส่งถ่ายด้วยการแพร่กระจาย ( $\eta_D$ ) สามารถเขียนแทนได้ด้วยสมการที่ (2.11)

$$\eta_D = 0.9 \left[ \frac{KT}{\mu_c \cdot d \cdot E_p \cdot V_o} \right]^{2/3} \quad (2.11)$$

โดยที่  $K$  = ค่าคงที่ของโบลซมานน์ (Boltzmann Constant)  
 $= 1.38048 \times 10^{-16}$  erg/K

$T$  = อุณหภูมิสัมบูรณ์ (Absolute Temperature)

จากสมการที่ (2.11) จะเห็นว่า ประสิทธิภาพในการส่งถ่ายด้วยการแพร่กระจาย จะมีค่าสูงเมื่อปริมาณการไหลมีค่าต่ำ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวกลางที่ใช้ และอนุภาคของวัสดุกระจายมีขนาดเล็ก

จากการศึกษาพบว่า เมื่ออนุภาคของวัสดุกระจายมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่า 1 ไมครอน ปรากฏการณ์การส่งถ่ายแบบการปะทะโดยตรงจะมีผลต่อประสิทธิภาพของโคเอเลสเซอร์มากที่สุด และเมื่ออนุภาคของวัสดุกระจายมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 1 ไมครอน ปรากฏการณ์ที่สำคัญจะเป็นการส่งถ่ายแบบแพร่กระจาย

การหาประสิทธิภาพในการส่งถ่ายรวม ( $\eta_T$ ) สามารถหาได้โดยการรวมประสิทธิภาพของการส่งถ่ายทั้ง 3 อย่าง ดังสมการที่ (2.6)

$$\eta_T = \eta_s + \eta_I + \eta_D \quad (2.12)$$

#### 2.6.4.2 กลไกการจับอนุภาคอิมัลชัน

กลไกการจับอนุภาคอิมัลชันในโคเอเลสเซอร์เกิดขึ้นได้หลายกรณีคือ การดักอนุภาคอิมัลชัน (straining) การตกตะกอน (sedimentation) การจับยึด (adhesion) การดูดติดผิว (adsorption) และการรวมตัวของอนุภาคอิมัลชัน (coalescence)

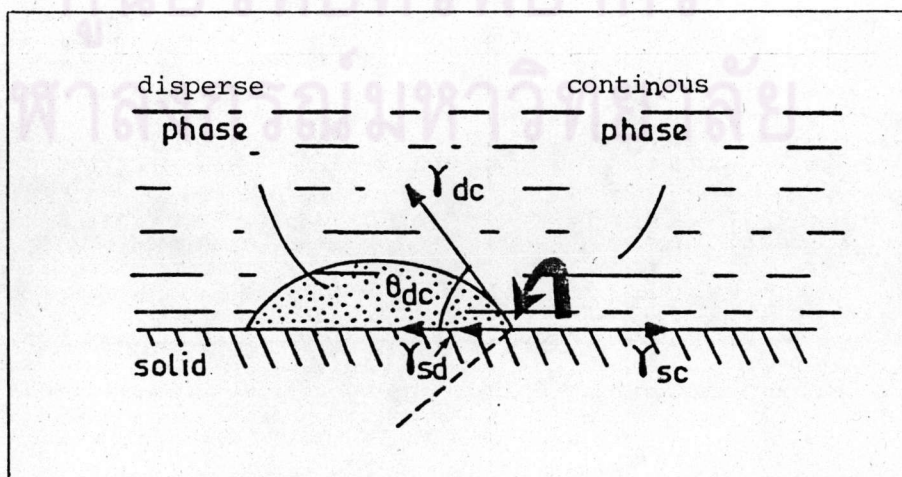
อย่างไรก็ดี แม้ว่ากลไกในขั้นตอนนี้มีมากมาย แต่ปรากฏการณ์ในการจับอนุภาคอิมัลชันของโคเอเลสเซอร์เกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะคือ

1. ในกรณีที่ตัวกลางไม่เปียกด้วยอนุภาคอิมัลชัน กลไกที่เกิดขึ้นคือ การดักอนุภาคอิมัลชันให้ติดค้างอยู่ในช่องว่างระหว่างตัวกลาง หลังจากนั้นจึงเกิดการรวมตัวของอนุภาคอิมัลชันที่อยู่ในช่องว่างระหว่างตัวกลางเป็นหยดอิมัลชันขนาดใหญ่ขึ้น

2. ในกรณีที่ตัวกลางเปียกด้วยอนุภาคอิมัลชัน กลไกที่เกิดขึ้นคือการจับยึดหรือการดูดติดผิว ซึ่งอนุภาคอิมัลชันจะถูกจับยึดขณะไหลผ่านตัวกลาง หลังจากนั้นจึงเกิดการรวมตัวของอิมัลชันบนผิวของตัวกลาง

เนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้เป็นตัวกลางซึ่งสามารถเปียกได้หรือไม่ได้ด้วยอนุภาคอิมัลชันเป็นตัวควบคุมกลไกการทำงานของโคเอเลสเซอร์ หากวัสดุที่ใช้เป็นตัวกลางมีคุณสมบัติไม่เปียกด้วยอนุภาคอิมัลชัน แรงจับยึดและการไหลในโคเอเลสเซอร์จะถูกจำกัดด้วยความเร็วของอนุภาคอิมัลชันที่ไหลผ่านตัวกลาง ดังนั้นเพื่อให้การทำงานของโคเอเลสเซอร์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ จึงควรเลือกวัสดุที่ใช้เป็นตัวกลางให้มีคุณสมบัติเปียกได้ด้วยอนุภาคอิมัลชัน

เมื่อพิจารณาอนุภาคอิมัลชันที่ติดอยู่บนตัวกลาง และจมอยู่ในวัสดุต่อเนื่อง (ดูรูปที่ 2.7) จะมีความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสวิกฤตกระจาย และวิกฤตต่อเนื่อง ( $\theta_{dc}$ ) และแรงดึงระหว่างผิวของผิวสัมผัสได้ดังนี้



รูปที่ 2.7 อนุภาคอิมัลชันบนตัวกลางที่เปียกด้วยอิมัลชัน

$$\gamma_{sc} = \gamma_{sd} + \gamma_{dc} \cos \theta_{dc} \quad (2.13)$$

โดยที่  $\gamma_{sc}$  = แรงดึงระหว่างผิวของของแข็งที่ใช้เป็นตัวกลางกับวิฏภาคต่อเนื่อง

$\gamma_{sd}$  = แรงดึงระหว่างผิวของของแข็งที่ใช้เป็นตัวกลางกับวิฏภาคกระจาย

$\gamma_{dc}$  = แรงดึงระหว่างผิวของวิฏภาคกระจายและวิฏภาคต่อเนื่อง

และงานที่กระทำระหว่างแรงยึดของของแข็งและวิฏภาคกระจายที่จมอยู่ในวิฏภาคต่อเนื่อง

( $W_{adh} (sd)_c$ ) แสดงได้ดังสมการที่ (2.4)

$$W_{adh} (sd)_c = \gamma_{dc} + \gamma_{sc} - \gamma_{sd} \quad (2.4)$$

ดังนั้นจากสมการที่ (2.13) จัดให้อยู่ในแบบของงานที่กระทำระหว่างแรงยึดของของแข็งและวิฏภาคกระจายที่จมอยู่ในวิฏภาคต่อเนื่อง ได้ดังสมการที่ (2.14)

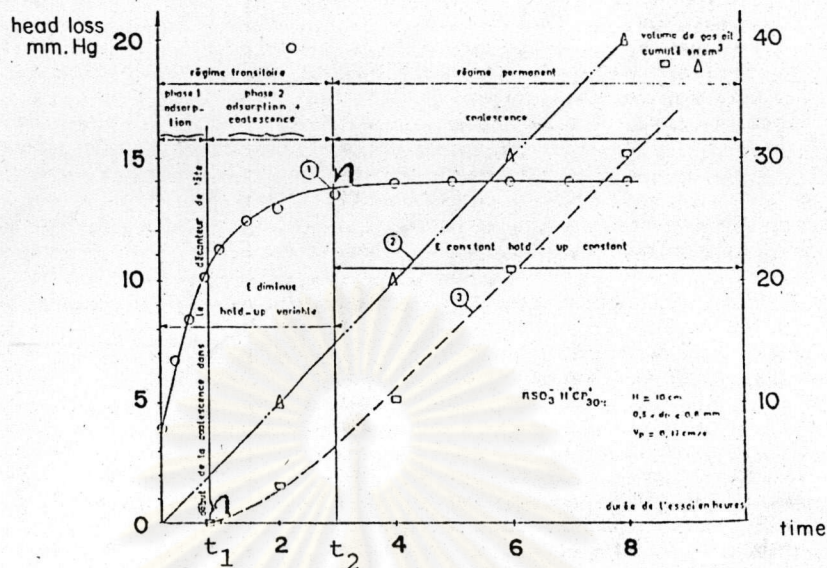
$$W_{adh} (sd)_c = \gamma_{dc} (1 + \cos \theta_{dc}) \quad (2.14)$$

จากสมการที่ (2.14) สรุปได้ว่า แรงจับยึดระหว่างอนุภาคอิมัลชันกับวัสดุที่ใช้เป็นตัวกลางในโคเอเลสเซอร์จะมีค่าสูง เมื่อแรงดึงระหว่างผิวของวิฏภาคกระจายและวิฏภาคต่อเนื่องมีค่าสูงและมุมสัมผัสของวิฏภาคกระจายและวิฏภาคต่อเนื่องมีค่าต่ำ นั่นก็แสดงว่าประสิทธิภาพในการทำงานของกลไกในขั้นตอนนี้จะสูงขึ้นเมื่อใช้วัสดุที่เป็นตัวกลางชนิดเปียกได้ด้วยอนุภาคอิมัลชัน

#### 2.6.4.3 กลไกการหลุดออกจากชั้นตัวกลาง

การหลุดออกจากชั้นตัวกลาง เกิดขึ้นเนื่องจากการที่วิฏภาคกระจายถูกสกัดกั้นอยู่ในชั้นตัวกลางมากจนกระทั่งมีปริมาณมากจนถึงจุดอิ่มตัว ซึ่งทำให้เกิดการรวมตัวของแผ่นฟิล์มของวิฏภาคกระจายตลอดทั้งพื้นที่หน้าตัดของชั้นตัวกลางวิกฤติ และเมื่อความหนาของแผ่นฟิล์มมีค่ามากเกินจุดวิกฤติจะเกิดการเคลื่อนที่ (drainage) ของหยดอิมัลชันออกจากชั้นตัวกลาง ตามทิศทางของเครื่องหมายของผลต่างระหว่างความหนาแน่นของมวลของวิฏภาคต่อเนื่องและวิฏภาคกระจาย

2.7 การสูญเสียแรงดันหัวน้ำของเครื่องกรองโคเอเลสเซอร์



รูป 2.8 แสดงการสูญเสียแรงดันหัวน้ำของเครื่องกรองโคเอเลสเซอร์

จากรูป 2.8 แบ่งเส้นกราฟของการสูญเสียแรงดันหัวน้ำของเครื่องกรองโคเอเลสเซอร์ (เลข 1) ออกเป็น 2 ช่วงใหญ่ ๆ คือ

1. เขตมีการเปลี่ยนแปลง (transition zone) ค่าการสูญเสียแรงดันหัวน้ำเนื่องจากความพรุนของชั้นตัวกลางเปลี่ยนแปลง แบ่งเป็น 2 ช่วง คือ

1.1 ช่วงเริ่มต้น ถึง  $t_1$  เกิดกลไกการดูดติด (adsorption) ของอนุภาคอิมัลชันกับตัวกลาง ในช่วงนี้ไม่มีปริมาณน้ำมันออกจากเครื่องกรอง

1.2 ช่วง  $t_1$  ถึง  $t_2$  เกิดกลไกการดูดติดและการรวมตัว (coalescence) ของอนุภาคอิมัลชันบนตัวกลาง ในช่วงนี้ผลต่างของปริมาณน้ำมันที่เข้าและออกจากเครื่องกรองมีค่าเปลี่ยนแปลง

2. เขตการสูญเสียความดันคงที่ (permanent zone) เนื่องจากความพรุนของชั้นตัวกลางไม่เปลี่ยนแปลง ในเขตนี้มีเพียงกลไกการรวมตัวของอนุภาคอิมัลชัน ในช่วงนี้ผลต่างของปริมาณน้ำมันที่เข้าและออกจากเครื่องกรองโคเอเลสเซอร์มีค่าคงที่

2.8 การหาประสิทธิภาพของโคเอเลสเซอร์

การหาประสิทธิภาพในการกำจัดอิมัลชันของโคเอเลสเซอร์ สามารถหาได้จากสมการที่ 2.15 ดังนี้

$$\ln \frac{C_s}{C_o} = -\frac{3}{2} (1-\varepsilon) \alpha_T \frac{H}{d_p} \quad (2.15)$$

โดยที่	$C_s$	=	ความเข้มข้นของสารที่ออกจากโคเอเลสเซอร์
	$C_o$	=	ความเข้มข้นของสารที่เข้าจากโคเอเลสเซอร์
	$\varepsilon$	=	สปส. ของช่องว่างพรุนระหว่างตัวกลาง
	$\alpha$	=	สปส. ของกลไกการจับยึด
	$H$	=	การสูญเสียแรงดันหัวน้ำ

จากการทดลองพบว่า ค่า  $C_s$  ที่ออกจากโคเอเลสเซอร์มีค่าน้อยกว่าที่คำนวณได้จากสมการที่ 2.15 แสดงว่าในการเกิดโคเอเลสเซอร์จริง ๆ แล้วมีประสิทธิภาพสูงกว่าที่ได้แสดงไว้ในสมการ

## 2.9 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโคเอเลสเซอร์

จากรายงานการวิจัยต่าง ๆ พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการรวมตัวของวิฎภาคกระจายและเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของโคเอเลสเซอร์มีหลายประการดังนี้คือ

1. ความดันของระบบ
2. ความเร็วในการไหลผ่านชั้นตัวกลาง
3. แรงดึงดูดของวิฎภาคกระจาย
4. ความหนืดของวิฎภาคกระจาย
5. ความหนาแน่นของวิฎภาคกระจายและวิฎภาคต่อเนื่อง
6. อุณหภูมิของระบบ
7. สารลดแรงดึงผิว
8. ชนิดและขนาดของตัวกลาง
9. ความลึกของชั้นตัวกลาง
10. สิ่งสกปรกต่าง ๆ

อย่างไรก็ดี แม้ว่าปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อโคเอเลสเซอร์จะมีมาก แต่ก็สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโคเอเลสเซอร์ได้โดยใช้ดัชนีการกรอง (Filterability index) ซึ่ง KENNETH J. Ives<sup>(19)</sup> ได้เสนอไว้ดังนี้

$$F = \frac{HC}{VC_0 t} \quad (2.16)$$

โดยที่  $F$  = ดรรชนีการกรอง

$t$  = ระยะเวลาในการทำงานของโคเอเลสเซอร์

จากสูตรข้างบน จะเห็นว่าค่า  $F$  ไม่มีหน่วย และ  $C/C_0$  เป็นอัตราส่วน ดังนั้นจะใช้คุณภาพน้ำเป็นหน่วยอะไรก็ได้ เช่น ความขุ่น TOC หรือ Coliform number

สำหรับโคเอเลสเซอร์ที่ดีนั้นควรจะมีการสูญเสียแรงดันหัวน้ำต่ำและคุณภาพน้ำที่ออกจะโคเอเลสเซอร์ดี และควรจะมีอัตราการไหลผ่านโคเอเลสเซอร์สูง ประกอบกับโคเอเลสเซอร์ควรรับความเข้มข้นของน้ำที่จะผ่านกระบวนการโคเอเลสเซอร์สูง และใช้ได้ในระยะเวลานาน ๆ ดังนั้น ดรรชนีของการกรองที่ดี จึงหมายถึงค่า  $F$  ต่ำ

เนื่องจากค่าดรรชนีของการกรองไม่ได้มาจากทฤษฎีของการกรองโดยตรง ดังนั้นจึงมีขอบเขตของการใช้ค่าดรรชนีของการกรอง เช่น ถ้าใช้อัตราการไหลสูงมาก ๆ ให้ค่า  $F$  ต่ำ แต่การกรองไม่ดี คือ มีค่า  $C/C_0$  เข้าใกล้ 1 เหมือนกับไม่มีการกรอง ไม่มีการอุดตัน ซึ่งเป็นไปไม่ได้ในทางปฏิบัติ หรือถ้าใช้ขนาดของตัวกลางโต ๆ ( $\phi = 5$  มม.) ทำให้การสูญเสียแรงดันหัวน้ำต่ำมาก ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงต้องเลือกตัวแปรต่าง ๆ ให้เหมาะสมที่คาดว่าจะทำให้เกิดการกรองขึ้นได้

ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องกรองโคเอเลสเซอร์ โดยใช้ค่าดรรชนีการกรองจะใช้ได้เฉพาะในกรณีที่เป็น transition zone เพราะว่า เมื่อพิจารณาค่าดรรชนีการกรอง ซึ่งมีค่า  $F = \frac{C_s H_L}{C_0 v t}$  จะพบว่าสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ  $C_s/C_0$ ,  $H_L/v$  และ  $1/t$  ซึ่งในกรณีที่เป็น steady state zone พารามิเตอร์  $C_s/C_0$  และ  $H_L/v$  มีค่าคงที่ เป็นเหตุทำให้ค่าดรรชนีการกรองแปรผันกับ  $1/t$  เพราะฉะนั้นจึงไม่สามารถนำค่าดรรชนีการกรองมาใช้สำหรับเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องกรองโคเอเลสเซอร์ในเขต steady state ได้